

# Tool grinding simulation system

**Patent number:** DE19781968T  
**Publication date:** 1999-11-18  
**Inventor:** BRIEN GLENN CHARLES (AU); STEWARD NIGEL TIMOTHY (AU); SIMAKOV MIKHAIL (AU)  
**Applicant:** ANCA PTY LTD (AU)  
**Classification:**  
- international: **G05B19/4069; G05B19/406; (IPC1-7): G05B19/4069**  
- european: **G05B19/4069**  
**Application number:** DE19971081968T 19970901  
**Priority number(s):** AU1996PO02065 19960830; WO1997AU00565 19970901

Also published as:

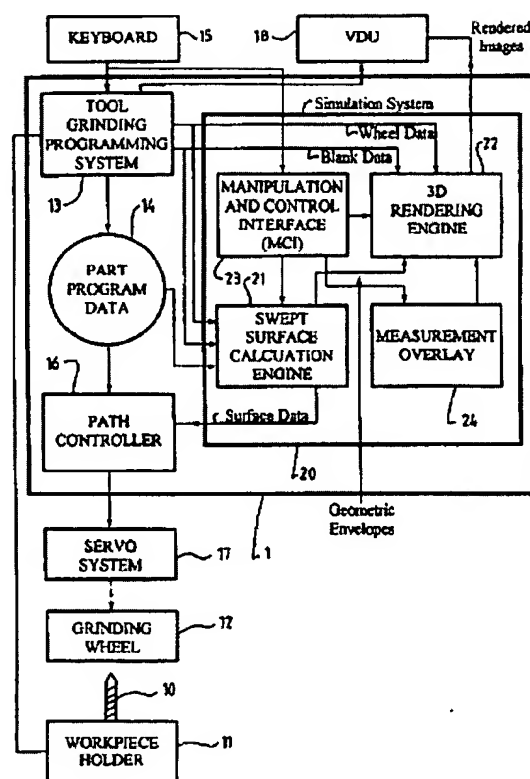
WO9809203 (A1)  
US6341996 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for DE19781968T

Abstract of corresponding document: **US6341996**

A simulation system (20) for a CNC machine tool includes a swept surface calculation engine (21) for processing workpiece data and grinding wheel data representing information about the grinding wheel (12) and its programmed path to generate a set of geometric envelopes representing the solid volume occupied by the grinding wheel (12) as it moves along its programmed path. The envelopes, workpiece data and grinding wheel data are processed by a 3-D rendering engine (22) to produce a three-dimensional perspective image of the workpiece (11) as it would appear after being ground by the grinding wheel (12). The simulation system (20) also includes a manipulation and control interface (23) which may be used for a wide variety of purposes to enhance the three-dimensional image, such as position, orientation and zoom control, control of simulated illuminated light sources, control of texture maps and overlay grids which may be superimposed on the surface of the simulated workpiece image.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

①⑫ **Veröffentlichung**  
①⑩ **DE 197 81 968 T 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 05 B 19/4069**

- der internationalen Anmeldung mit der
- ⑧⑦ Veröffentlichungsnummer: WO 98/09203 in  
deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
- ②① Deutsches Aktenzeichen: 197 81 968.0
- ⑧⑥ PCT-Aktenzeichen: PCT/AU97/00565
- ⑧⑥ PCT-Anmeldetag: 1. 9. 97
- ⑧⑦ PCT-Veröffentlichungstag: 5. 3. 98
- ④③ Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: 18. 11. 99

- ③⑩ Unionspriorität:  
PO 2065 30. 08. 96 AU
- ⑦① Anmelder:  
Anca Pty. Ltd., Bayswater North, Victoria, AU
- ⑦④ Vertreter:  
Türk, Gille, Hrabal, 40593 Düsseldorf

- ⑦② Erfinder:  
Brien, Glenn Charles, Berwick, Victoria, AU;  
Steward, Nigel Timothy, Blackburn South, Victoria,  
AU; Simakov, Mikhail, Murrumbena, Victoria, AU

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ **Werkzeugschleifsimulationssystem**

**DE 197 81 968 T 1**

**DE 197 81 968 T 1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

## WERKZEUGSCHLEIF-SIMULATIONSSYSTEM EINFÜHRUNG IN DIE ERFINDUNG

Vorliegende Erfindung bezieht sich auf computer-numerisch gesteuerte (CNC) Werkzeugmaschinen und insbesondere auf computer-generierte, optische Simualtionstechniken für besagte Werkzeugmaschinen.

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Die Entwicklung mehrachsiger und Multifunktions-Werkzeugmaschinen in Verbindung mit der Entwicklung von fortschrittlichem, computer-gesteuertem Betrieb hat das Heranwachsen einer Generation von Hochgeschwindigkeits-Präzisionswerkzeugmaschinen gefördert, die in der Lage sind, komplexe, viele Schritte umfassende Operationen auf einer Maschine durchzuführen.

Typischerweise wird eine CNC-Maschine von einem Computerprogramm, einem sogenannten "Teileprogramm", gesteuert, das die Maschine mit einer Serie von Befehlen anweist, eine aufeinanderfolgende Serie diskreter Operationen in festgelegter Reihenfolge durchzuführen, sodass ein bewegliches Betriebsteil der Werkzeugmaschine, wie zum Beispiel ein Fräser oder eine Schleifscheibe, entlang einer vom Teileprogramm bestimmten, programmierten Bahn fährt. Jede einzelne Anweisung wird als "Block" bezeichnet und kann aus einem Befehl für jede einzelne oder für eine Kombination aus mehreren steuerbaren Achsen bestehen. Zum Beispiel kann ein Block eine Schleifscheibe anweisen, sich um 5mm in der Y-Achse mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit zu bewegen, oder eine Schleifscheibe anweisen, zu rotieren und sich 0,05 mm in den X- und Y-Achsen mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit zu bewegen. Nach Programmierung in den Computer werden die Blöcke dann in bestimmter Reihenfolge festgelegt. Der ganze Satz aufeinanderfolgender Blöcke kann dann automatisch von der CNC-Maschine abgerufen werden, die sie dann von Beginn bis Ende des Teileprogramms abarbeitet.

Während diese Definition eines Teileprogramms die herkömmliche Methode der Erzeugung einer "programmierten Bahn" beschreibt, ist diese Erfindung auch auf andere Mittel zur Erzeugung programmierter Bahnen mit oder ohne Erzeugung oder Einsatz eines Teileprogramms anwendbar. Bei diesen Methoden kann es sich unter anderem um die direkte Steuerung der programmierten Bahn von einem Maschinen-Werkzeugprogrammiersystem o. ä. aus handeln. Im Zusammenhang mit dieser Erfindung bezieht sich der Begriff "programmierte Bahn" auf jede beliebige Datensequenz, die zumindest als die räumliche Bahn des Betriebsteils, den die Werkzeugmaschine mit Bezug auf das Werkstück zurücklegt repräsentierend angesehen wird, und der Begriff "Teileprogramm" bezieht sich auf jedes beliebige Teileprogramm, Programmdatei oder Sequenzdaten, die dieses Teileprogramm steuern oder beinhalten.

Beim Testen eines Teileprogramms für eine komplexe Werkzeugmaschine ist es wünschenswert, eine optische Simulation der Bewegung der Schleifscheibe der Werkzeugmaschine und des Bearbeitungsprozesses vor der tatsächlichen physischen Operation der Schleifscheibe zur Verfügung zu haben. Diese Simulation kann off-line mit

entsprechend konfigurierten, dreidimensionalen Grafiksimulationssystemen durchgeführt werden, verläßt sich damit jedoch auf von der CNC der Werkzeugmaschine separates Computergerät und somit auf die entsprechend komplexe Übertragung von Teileprogrammen und Simulationsdaten zwischen der CNC und dem Simulationscomputer.

Für eine bestimmte Klasse von Maschinen, den Werkzeugschleifmaschinen, ist es besonders nützlich, eine akkurate grafische Simulation des Bearbeitungsprozesses einzusehen. Dies war bisher aufgrund der innewohnenden geometrischen Komplexität mit Schwierigkeiten verbunden. Normalerweise hat eine CNC-Werkzeugschleifmaschine mindestens vier Achsen mit kontinuierlichen Verfahrenswegen und wird bei der Herstellung oder dem Nachschleifen von drallnutigen Schneidwerkzeugen (dem Werkstück) wie Fräsern, Drehfeilen, Bohrern, Reibahlen und dergleichen eingesetzt. Von hier an werden die Begriffe Werkstück und Schneidwerkzeug untereinander auswechselbar gebraucht. Die auf diesen Werkstücken produzierten Oberflächenmerkmale werden normalerweise durch komplexe, weitreichende Bewegungen der Schleifscheibe(n) erzeugt, wobei die resultierende Oberfläche geometrisch komplexer ist als die Oberfläche der Schleifscheibe. Es ist daher schwierig zu gewährleisten, dass die gewünschte Werkstückform mit den in das die Bewegungen der Schleifscheibe definierenden Teileprogramm eingegebenen Parametern ohne den Einsatz von dreidimensionaler Grafiksimation erzeugt wird. Herkömmliche dreidimensionale Simulationswerkzeuge sind nicht in der Lage, die komplexen, von einer mehrachsigen, CNC-gesteuerten Werkzeugschleifmaschine ausgegebenen Daten zu verarbeiten.

Es ist daher wünschenswert, ein Computer-Simulationsumfeld für Werkzeugschleifmaschinen zu schaffen, das automatisierte, computer-gestützte Werkzeuge bietet, die auf Arbeitspraktiken der manuellen Simulation und Überprüfungsprozeduren basieren.

Es ist außerdem wünschenswert, eine CNC-Steuerung für komplexe, mehrachsige Werkzeugmaschinen zur Verfügung zu haben, die dreidimensionale, schattierte Farbgrafiksimation des Bearbeitungsprozesses erstellen kann, ohne dass ein zusätzliches Simulationscomputersystem benötigt wird.

Es ist weiterhin wünschenswert, ein Berechnungssystem zur Verfügung zu stellen, das vollständige mathematische Oberflächenbeschreibungen erstellt, zum Zweck genauerer Werkzeugmaschinen-Bahngenerierung auf komplexen, mehrachsigen Werkzeugmaschinen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Gemäß eines Aspekts der Erfindung wird ein Simulationssystem für eine computer-gesteuerte (CNC) Werkzeugmaschine mit mindestens einer beweglichen Schleifscheibe für die Bearbeitung eines Werkstücks bereitgestellt;

wobei besagte CNC-Werkzeugmaschine mit einem Teileprogramm programmiert wird, das die Maschine anweist, eine aufeinanderfolgende Serie diskreter Operationen in festgelegter Reihenfolge durchzuführen, um somit die Bewegung einer Schleifscheibe entlang einer vom Teileprogramm bestimmten Bahn zu steuern;

wobei besagte CNC-Werkzeugmaschine ein Werkzeugmaschinen-Programmiersystem für die Erzeugung von Daten beinhaltet, welche Informationen betreffend die Schleifscheibe, das Werkstück und die programmierte Bahn enthalten;

wobei die Simulation folgendes mit einschließt:

Verarbeitungsmittel für die Verarbeitung der vom Werkzeugmaschinen-Programmiersystem erzeugten Daten, um eine dreidimensionale Abbildung des Werkstücks, wie es nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe gemäß des Teileprogramms aussehen würde;

eine optische Anzeige-Einheit (VDU) für die Anzeige der dreidimensionalen Abbildung; und Regulierungs- und Einstellmittel für die Regulierung und Einstellung der Erscheinung der dreidimensionalen Abbildung auf der Anzeige-Einheit;

wobei das Verarbeitungsmittel eine Arbeitsraumberechnungsvorrichtung beinhaltet, die Arbeitsraumdaten errechnet, welche die Haut des Körpervolumens darstellen, das von der Schleifscheibe während ihrer Bewegung entlang der programmierten Bahn eingenommen wird, und wobei die Arbeitsraumdaten von den Rohteildaten, die die Form des Rohteils vor der Bearbeitung durch die Schleifscheibe darstellen, subtrahiert werden, um die Daten für die bearbeitete Oberfläche zu erzeugen, die die Position und Merkmale der Werkstückoberfläche repräsentieren, wie diese nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe aussehen würde.

Vorzugsweise sind die Verarbeitungsmittel auch so ausgelegt, dass sie eine dreidimensionale Abbildung der Schleifscheibe für die Anzeige auf dem Bildschirm erzeugen. Die Verarbeitungsmittel sind vorzugsweise so ausgelegt, dass perspektivische Ansichten des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe aus verschiedenen Richtungen erzeugt werden, und die Anzeige genannter perspektivischer Ansichten durch die Regulierungs- und Einstellmittel kontrolliert wird.

Der Betriebsteil der Werkzeugmaschine kann aus einem beliebigen CNC-Schneid- oder Schleifwerkzeug bestehen. In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung besteht die Schleifscheibe aus einer Schleifscheibe.

Die Werkzeugmaschine kann so programmiert werden, dass ein Werkstück (z.B. ein Schneidwerkzeug) aus einem Rohteil hergestellt wird. Andernfalls kann die Werkzeugmaschine zum Nachschleifen der Kanten eines existierenden Werkstücks (z.B. eines Schneidwerkzeuges) programmiert werden. Die Methode der vorliegenden Erfindung ist besonders auf CNC-Maschinen anwendbar, auf denen eine Schleifscheibe als Betriebsteil so programmiert ist, dass sie sich mit mindestens vier Freiheitsgraden relativ zu einem Werkstück bewegt, um ein drallgenutetes Werkzeug (das Werkstück) herzustellen oder nachzuschleifen. Beispiele drallgenuteter Schneidwerkzeuge, die von einer CNC-Maschine unter Einbeziehung der Erfindung hergestellt oder nachgeschliffen werden, sind unter anderem: Fräser; Drehfeilen; Bohrer; Reibahlen und dergleichen.

Das Simulationssystem ist vorzugsweise in die CNC-Maschine integriert und somit Teil der CNC-Maschine. Als Alternative kann das Simulationssystem aus einem Computersystem bestehen, das separat von der Maschine besteht, jedoch mit ihrem Werkzeugprogrammiersystem kommuniziert.

Vorzugsweise sind die Verarbeitungsmittel so ausgelegt, dass Rahmendaten erzeugt werden, die die äußeren Bewegungsgrenzen der Schleifscheibe durch Lösen der 4, 5 oder 6 Grad Freiheitsgrade-Gleichungendarstellen, welche die Bewegung der Schleifscheibe darstellen.

Das Simulationssystem beinhaltet vorzugsweise Mittel für die Berechnung der bearbeiteten Oberfläche, die für die Berechnung von Oberflächendaten durch Booleesche Subtraktion für die Werkstückabbildung programmiert sind. Die Oberflächendaten können den Positions- und Oberflächeneigenschaften einer Oberfläche eines Werkstücks entsprechen, wie es nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe aussehen würde.

Vorzugsweise beinhaltet das Simulationssystem eine Vorrichtung, die so ausgelegt ist, dass sie eine dreidimensionale Abbildung des Werkstücks und, wahlweise, der Schleifscheibe ausgibt, wobei die Abbildung dann auf einer Anzeige-Einheit (VDU) des Simulationssystems dargestellt werden kann.

Das Simulationssystem kann Überlagerungsmittel beinhalten, die ein mit den Regulierungs- und Einstellmitteln kontrollierbares Raster erzeugen, das simultan mit der dreidimensionalen Abbildung auf dem VDU dargestellt werden kann. Das ist vorteilhaft, da es das Messen der Werkstückabbildung möglich macht.

Die Überlagerung des Maßstabrasters besteht vorzugsweise aus konzentrischen Kreisen und radialen Linien mit Ursprung im Zentrum der Kreise und besagte konzentrische Kreise sind mit einem Maßstab versehen, der den Radius jedes Kreises anzeigt, wie dieser für den Maßstab der dreidimensionalen Abbildung gilt.

Die Regulierungs- und Einstellmittel können auch andere Eigenschaften der Abbildung auf dem VDU regulieren und einstellen. Die Regulierungs- und Einstellmittel können für eine Vielzahl von Zwecken eingesetzt werden, einschließlich der Regulierung und Einstellung von: der relativen Größe und Position der Abbildung auf dem VDU; simulierter Lichtquellen zur Beleuchtung der Abbildung des Werkstücks oder Schneidwerkzeugs; und/oder der Erscheinungsweise der Abbildung.

Das Simulationssystem kann zum Simulieren eines Bearbeitungsprozesses der CNC-Maschine verwendet werden. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass das System programmiert oder gesteuert wird, Laufbildersequenzen zu erzeugen, welche den Bearbeitungsprozess in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen in dreidimensionalen Abbildungen des bearbeiteten Werkstücks zeigen, wie es in den Zeitintervallen während des tatsächlichen Bearbeitungsprozesses aussehen würde. Die Regulierungs- und Einstellmittel können entsprechend für die Steuerung des Simulationssystems zur

Darstellung kontinuierlicher Bearbeitungsoperationen, individueller Bearbeitungsoperationen oder nur des fertigen Werkstücks verwendet werden.

Das Simulationssystem kann kartengenerierende Mittel beinhalten, die eine Beschaffenheitskarte und/oder Farbkarte der Oberfläche der Schleifscheibe der Werkzeugmaschine erzeugen, die der dreidimensionalen Abbildung der Schleifscheibe oder simulierten Werkstücks übergelagert werden kann.

Eine Beschaffenheitskarte kann aus dünnen Linien bestehen, deren Dichte und Richtung Oberflächenkratzer simulieren können, die als Resultat der Schneidaktion der Schleifscheibe durch Ankratzen des Werkstücks während des Bearbeitungsprozesses entstehen würden.

Eine Farbkarte kann aus einer abgestuften, farbkodierten Abbildung des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe bestehen. Das Simulationssystem kann so ausgelegt sein, dass eine farbkodierte Ansicht der Schleifscheibe und des Werkstücks dargestellt wird, wobei die Farbe jeder Region der Oberfläche des Werkstücks eine ähnlich farbkodierte Region der Schleifscheibe repräsentiert, die die entsprechende Region des Werkstücks während des Bearbeitungsprozesses schleift. Als Alternative kann das Simulationssystem so ausgelegt sein, dass eine farbkodierte Abbildung des Werkstücks gezeigt wird, wobei die Farbe jeder Region der Werkstücksoberfläche die Volumensmaßeinteilung des zu entfernenden Materials pro Zeiteinheit repräsentiert, wenn die Schleifscheibe beim Bearbeitungsprozess mit der Region in Kontakt ist.

Eine Beschaffenheitskarte kann auch aus einer oder mehreren kurvenförmigen Linien bestehen, die der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks übergelagert werden. Die Linien können dabei momentane Kontaktlinien zwischen der Werkzeugmaschine und der Werkstückoberfläche zu bestimmten Zeiten des Bearbeitungsprozesses darstellen. Als Alternative können zusätzliche kurvenförmige Linien konstanten Kontakt zwischen bestimmten Regionen der Schleifscheibe und der bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks über das Kontinuum der Bearbeitungsprozessintervalle repräsentieren.

Gemäß eines anderen Aspektes der Erfindung steht eine CNC-Werkzeugschleifmaschine mit einem Simulationssystem gemäß des ersten Aspekts der Erfindung zur Verfügung, sowie mit einer Bahnsteuerung zur Steuerung der Bewegung der Schleifscheibe der CNC-Werkzeugschleifmaschine, wobei die Oberflächendaten zur Bahnsteuerung der CNC-Maschine übertragen werden, um die Bearbeitungsbahn der Schleifscheibe zu regulieren. Somit können Werkstücksmerkmale (z.B. Nuten eines Schneidwerkzeugs) während des Bearbeitungsprozesses der CNC-Maschine akkurater bearbeitet werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Eine bevorzugte Ausführung der Erfindung soll hier anhand eines Beispiels beschrieben werden, mit Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, wobei:



Figur 1 ein Blockdiagramm einer Vorrichtung ist, die dreidimensionale Abbildungen erzeugt;

Figur 2 ein detailliertes Blockdiagramm einer Vorrichtung ist, die dreidimensionale Abbildungen erzeugt;

Figur 3 eine schematische Darstellung einer Regulierungs- und Steuerungsschnittstelle des Systems in Fig. 1 ist;

Figur 4 eine Ansicht eines Anzeigebildschirms mit einem überlagerten Maßeinteilungsraster;

Figur 5 eine weitere Ansicht eines Anzeigebildschirms mit einem überlagerten Maßeinteilungsraster und einem Winkelmesswerkzeug ist;

Figur 6 eine andere Ansicht des Anzeigebildschirms mit einer Zeigevorrichtung ist;

Figur 7 eine weitere Ansicht eines Anzeigebildschirms mit einer Datenanzeige für Messungen ist;

Figur 8 wiederum eine weitere Ansicht eines Anzeigebildschirms mit einer Beschaffenheitskarte ist, gebildet aus einem Raster von kurvenförmigen Linien, die einer dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks überlagert ist.

**Figur 1**

- 15. Tastatur
- 18. VDU
- 13. Werkzeugschleif-Programmiersystem
- 14. Teileprogrammdatei
- 16. Bahnsteuerung
- 17. Servosystem
- 12. Schleifscheibe
- 11. Werkstückhalterung
- 23. MCI
- 21. Vorrichtung für Berechnung der bearbeiteten Oberfläche
- 22. 3D-Erzeugungsvorrichtung
- 24. Messüberlageschicht
- Geometric Envelopes - geometrische Arbeitsräume
- Surface data - Oberflächendaten
- Wheel data - Scheibendaten
- Blank data - Rohteildaten
- Simulation system - Simulationssystem
- Rendered images - Erzeugte Abbildungen

**Figur 2**

- 25 Tessellierungsmodul
- 34 Rastererzeuger
- 32 Booleesche Subtraktion
- A) Rohteildaten
  - Schleifscheibendaten
  - Satz geometrischer Arbeitsraumdaten
- B) Erzeugte abbildung des Werkstücks
- C) Erzeugte Abbildung der Schleifscheibe
- D) Subtrahierte Rohteildaten
- E) Anzeigeliste (Rohteil)
- F) Anzeigeliste(n) (Arbeitsräume)

**Figur 3**

- 43. Ausrichtungseinstellung
- 45. Beschaffenheitskarten-Einstellung
- 41. Positionseinstellung
- 47. Rastereinstellung
- 48. Zeigervorrichtungseinstellung
- 42. Einblendeinstellung
- 46. Farbkarteneinstellung
- 44. Beleuchtungseinstellung
- 26. Anzeigemoduseinstellung
- 49. Punktmessung

8

DE 197 81 968 11  
27.02.99

Control signals – Steuersignale  
Overlay grids – Rasterüberlagerungsschicht  
To 3D Rendering engine – Zu 3D-Erzeugungsvorrichtung

30.07.99

DE 197 81 968 T1

9

27. Juli 1999

G 60 564

197 81 968.0 - ANCA PTY. LTD.

### Zusammenfassung

Ein Simulationssystem (20) für eine CNC-Werkzeugmaschine mit einer Berechnungsvorrichtung (21) zur Berechnung bearbeiteter Oberflächen für die Verarbeitung von Werkstückdaten und Schleifscheibendaten, die Informationen über die Schleifscheibe (12) und deren programmierte Bahn darstellen, zur Erzeugung eines Satzes von geometrischen Arbeitsräumen, welche das von der Schleifscheibe beim Fahren entlang der programmierten Bahn eingenommene Körpervolumen darstellen. Die Arbeitsräume, Werkstückdaten und Schleifscheibendaten werden von einer 3D-Erzeugungsvorrichtung (22) verarbeitet, um eine dreidimensionale Perspektivabbildung des Werkstücks (11) zu produzieren, wie dieses nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe (12) aussehen würde. Das Simulationssystem (20) verfügt außerdem über eine Regulierungs- und Einstellschnittstelle (23), die für eine Reihe von Zwecken verwendet werden kann, um die dreidimensionale Abbildung zu verbessern, wie zum Beispiel Positions-, Ausrichtungs- und Einblendeinstellung, Einstellung der simulierten Lichtquellen, Einstellung der Beschaffenheitskarten und Farbkarten und Rasterauflegemasken, die alle auf die simulierte Werkstückabbildung aufgelegt werden können.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Ein Werkzeugschleif-Simulationssystem für eine computer-numerisch gesteuerte (CNC) Werkzeugmaschine mit mindestens einer beweglichen Schleifscheibe zur Bearbeitung eines Werkstücks;

wobei besagte CNC-Werkzeugmaschine mit einem Teileprogramm programmiert wird, welches die Maschine anweist eine aufeinanderfolgende Serie diskreter Operationen in festgelegter Reihenfolge durchzuführen, um die Bewegung der Schleifscheibe entlang einer vom Teileprogramm bestimmten Schleifbahn zu steuern;

wobei besagte CNC-Werkzeugmaschine ein Werkzeugprogrammiersystem zur Erzeugung von Daten enthält, die Informationen über die Schleifscheibe, das Werkstück und die programmierte Bahn repräsentieren;

wobei das Simulationssystem über folgendes verfügt:

Verarbeitungsmittel für die Verarbeitung der vom Werkzeugmaschinen-Programmiersystem erzeugten Daten zum Zwecke der Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks wie es nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe gemäß des Teileprogramms erscheinen würde;

einen Bildschirm (VDU) zur Anzeige der dreidimensionalen Abbildung; sowie Regulierungs- und Einstellmittel zur Regulierung und Einstellung der Erscheinung der dreidimensionalen Abbildung auf dem Bildschirm;

Verarbeitungsmittel einschließlich Berechnungsmittel die die Rahmendaten berechnen, die die Haut des von der Schleifscheibe während ihrer Bewegung entlang der programmierten Bahn eingenommenen Körpervolumens darstellen, und wo die Rahmendaten von Rohteildaten, die die Form des Werkstücks vor Beginn der Operation der Schleifscheibe am Werkstück darstellen, um Daten für die bearbeitete Oberfläche zu erzeugen, die die Position und Eigenschaften der Werkstückoberfläche repräsentieren, wie es nach Bearbeitung durch die Schleifscheibe erscheinen würde.

2. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 1, wobei die Rahmendaten von den Rohteildaten durch Booleesche Subtraktion abgezogen werden.

3. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die dreidimensionalen Abbildungen des Werkstücks von einer 3D-Erzeugungsvorrichtung produziert werden, die auch dreidimensionale Abbildungen der Schleifscheibe zur Anzeige auf der Anzeigeeinheit erzeugt.

3. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Verarbeitungsmittel so ausgelegt ist, dass es perspektivische Ansichten des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe aus verschiedenen Richtungen erzeugt, und die Anzeige genannter perspektivischer Ansichten mit den Regulierungs- und Einstellmitteln eingestellt wird.

4. Ein Simulationssystem gemäß Ansprüchen 3, wobei das Erzeugungsmittel für dreidimensionale Abbildungen ein Tessellierungsmodul zum Durchführen von Tessellierungsoperationen an den Schleifscheibendaten, den Raumdaten und den

Werkstücksdaten beinhaltet, um Listen in Form von Polygonen anzuzeigen, die die Oberflächen des Körpervolumens der Schleifscheibe und des Werkstücks repräsentieren.

5. Ein Simulationssystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verarbeitungsmittel so ausgelegt ist, dass es perspektivische Ansichten des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe aus verschiedenen Richtungen erzeugt, und die Anzeige genannter perspektivischer Ansichten mit den Regulierungs- und Einstellmitteln eingestellt wird.
6. Ein Simulationssystem gemäß einer der vorhergehenden Ansprüche, das außerdem über Überlagerungsmittel zur Erzeugung einer Maßstabsraster-Überlageschicht, wobei die Regulierungs- und Einstellmittel die Anzeige der Maßstabsraster-Überlageschicht auf der Anzeige-Einheit gleichzeitig mit der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks und/oder Schleifscheibe einstellen.
7. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 6, wobei die Maßstabsraster-Überlageschicht aus konzentrischen Kreisen und radialen Linien mit Ursprung im Zentrum der Kreise besteht, und wobei genannte konzentrische Kreise mit einem Maßstab versehen sind, der den Radius jedes Kreises anzeigt, wie er für den Maßstab der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks gilt.
8. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 7, wobei die Maßstabsraster-Überlageschicht bei der Einblendverstellung der dreidimensionalen Werkstückabbildung automatisch so nachgestellt wird, dass der Maßstab des Rasters mit Bezug auf den Maßstab des Werkstücks, wie es auf dem VDU erscheint, konstant bleibt.
9. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 8, wobei die Dichte der konzentrischen Kreise auf dem VDU automatisch so nachgestellt wird, dass die Dichte der Kreise sich innerhalb eines vorbestimmten Bereichs befindet.
10. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 9, wobei ein Auswahlmittel zur Verfügung steht, mit dem der zulässige Wertebereich für die Dichte der konzentrischen Kreise eingestellt wird.
11. Ein Simulationssystem gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei ein Winkelmess-Einstellungsmittel zur Verfügung steht, wobei besagtes Mittel es ermöglicht, dass die radialen Rasterlinien um das Zentrum der konzentrischen Kreise gedreht werden können und der Drehwinkel des Rasters mit Bezug auf die Basiswinkelposition auf dem VDU angezeigt wird.
12. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 11, wobei ein Winkelmess-Nullstellungsmittel zur Verfügung steht, wobei die Wahl eines solchen Mittels bewirkt, dass die Winkelpositionsanzeige 0.0 anzeigt und anschließend gezeigte Winkel auf der Winkelpositionsanzeige Winkel des Rasters relativ zur Winkelposition des Rasters zur Zeit der Nullstellung sind.

13. Ein Simulationssystem gemäß einer der Ansprüche 1 bis 5, außerdem einschließlich eines Messmittels zum Abfragen von Punkten auf der Oberfläche des Werkstücks, wobei das Messmittel durch ein Zeigermittel kontrolliert wird und Daten, die sich auf den vom Zeigermittel gewählten Oberflächenpunkt beziehen, auf dem VDU angezeigt werden.
14. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 13, wobei auf dem VDU angezeigte Daten die Koordinaten des abgefragten Punktes enthalten, wobei diese Koordinaten die Position des gewählten Punktes auf der Oberfläche repräsentieren.
15. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 14, wobei die auf dem VDU angezeigten Daten die Ausrichtung der Oberfläche des Werkstücks am gewählten Oberflächenpunkt beinhalten.
16. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 13, wobei die Ausrichtung der Oberfläche am gewählten Oberflächenpunkt als mindestens eine von zwei Komponenten angezeigt wird, wobei die erste Komponente den Winkel zwischen der Oberfläche und der radialen Achse eines zylindrischen Koordinatensystems darstellt, repräsentiert durch die im Werkstück eingebetteten Achsen  $(r, \theta, l)$ , wobei besagter Winkel in der Konstantebene (1) in besagtem zylindrischen Koordinatensystem gemessen wird und besagte radiale Achse so ausgerichtet ist (in  $\theta$ ), dass besagte radiale Achse zum gewählten Oberflächenpunkt zeigt, und wobei die zweite Komponente den Winkel zwischen der Oberfläche und besagter radialer Achse darstellt, gemessen in der Konstantebene  $\theta$  in besagtem zylindrischen Koordinatensystem, wobei  $\theta$  so ausgerichtet ist, dass besagte radiale Achse zum gewählten Oberflächenpunkt zeigt.
17. Ein Simulationssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei ein zweiter Punkt auf der Oberfläche des Werkstücks gewählt werden kann.
18. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 17, wobei die Distanz zwischen dem ersten und dem zweiten gewählten Punkt auf dem VDU als Distanz zwischen den beiden Punkten und/oder der Differenz in Koordinaten zwischen den beiden Punkten im selben Maßstab und denselben Einheiten wie die Maße des Werkstücks angegeben wird.
19. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 17, als Anhang zu Anspruch 15 oder Anspruch 16, wobei die tatsächliche Werkstück-Oberflächenausrichtung am ersten gewählten Punkt zum Einsatz in der Berechnung und Anzeige der Oberflächenausrichtungen geändert werden kann und die Werkstückoberfläche in eine neue Oberfläche transformiert wird, indem sie um eine Richtung gedreht wird, die senkrecht sowohl zur Verbindungslinie zwischen dem ersten und zweiten Punkt als auch zur Senkrechtoberfläche der Werkstückoberfläche am ersten gewählten Punkt verläuft, und wobei die besagte Drehung ausreichend ist, die Oberflächentangente der neuen Oberfläche mit der Richtung der Linie zwischen dem ersten und dem zweiten Punkt in Ausrichtung zu bringen.

20. Ein Simulationssystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, mit Mitteln, die Beschaffenheits- und/oder Farbkarten der Oberfläche des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe erzeugen, wobei die Regulierungs- und Einstellmittel die Anzeige der Beschaffenheitskarte und/oder Farbkarte auf der Anzeigeeinheit kontrollieren, und wo die Beschaffenheits- oder Farbkarte über die Oberfläche der dreidimensionalen Abbildung gelegt wird.
21. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 20, wobei die Beschaffenheits- und/oder Farbkarte aus einer abgestuften, farbkodierten Abbildung des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe besteht.
22. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 21, wobei das System so gesteuert wird, dass farbkodierte Ansichten des Werkstücks und der Schleifscheibe gezeigt werden, wobei die Farbe jeder Region der Werkstückoberfläche einer ähnlich farbkodierten Region der Schleifscheibe entspricht, welche die entsprechende Region des Werkstücks beim Bearbeitungsprozess bearbeiten würde.
23. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 21, wobei das System so gesteuert wird, dass eine farbkodierte Abbildung des Werkstück gezeigt wird, in der die Farbe jeder Region der Oberfläche des Werkstücks das beim Kontakt der Schleifscheibe mit dem Werkstück pro Zeiteinheit zu entfernende Materialvolumen repräsentiert.
24. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 20, wobei die Beschaffenheitskarte aus einer Reihe dünner Linien besteht, die der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks überlagert werden, um Oberflächenkratzer, die als Ergebnis der Schneidaktion der die Oberfläche des Werkstücks kratzenden Schleifscheibe erzeugt würden.
25. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 20, wobei die Beschaffenheitskarte aus einer oder mehreren kurvenförmigen Linien besteht, die der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks überlagert werden, wobei jede Linie die momentane Kontaktlinie zwischen der Schleifscheibe und der bearbeiteten Oberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt während des Bearbeitungsprozesses darstellt.
26. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 20, wobei die Beschaffenheitskarte aus einer oder mehreren dünnen Linien besteht, die der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks überlagert werden, wobei jede Linie die momentane Kontaktlinie zwischen der Schleifscheibe und der bearbeiteten Oberfläche über das Kontinuum der Zeitintervalle des Bearbeitungsprozesses darstellt.
27. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 20, wobei die Beschaffenheitskarte aus einem Raster zweier oder mehrerer dünner Linien besteht, die der dreidimensionalen Abbildung des Werkstücks überlagert werden, wobei jede Linie in einer Richtung die momentane Kontaktlinie zwischen der Schleifscheibe und der bearbeiteten Oberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt während des Bearbeitungsprozesses darstellt, und jede Linie in der anderen Richtung die momentane Kontaktlinie zwischen der Schleifscheibe und



der bearbeiteten Oberfläche über das Kontinuum der Zeitintervalle des Bearbeitungsprozesses darstellt.

28. Ein Simulationssystem gemäß einer der vorhergehenden Ansprüche, einschließlich simulierter Beleuchtungsmittel zur simulierten Beleuchtung der dreidimensionalen Abbildungen des Werkstücks und/oder der Schleifscheibe, wobei das simulierte Beleuchtungsmittel mit den Regulierungs- und Einstellmitteln eingestellt wird.

29. Ein Simulationssystem gemäß einer der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verarbeitungsmittel so ausgelegt ist, dass Laufbild-Sequenzen der dreidimensionalen Abbildungen des Werkstücks erzeugt werden, wie es in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen während des Bearbeitungsprozesses aussehen würde.

30. Ein Simulationssystem gemäß Anspruch 29, wobei die Regulierungs- und Einstellmittel die Wahl eines der folgenden Simulationsanzeige-Modi zulässt: kontinuierliche Bearbeitungsoperationen; individuelle Bearbeitungsoperationen; und die Anzeige des fertigen Werkstücks.

31. Eine CNC-Werkzeugmaschine einschließlich eines Simulationssystems gemäß Anspruch 30 und eine Bahnsteuerung zu Bewegungssteuerung der Schleifscheibe relativ zum Werkstück, wobei die Daten der bearbeiteten Oberfläche an die Bahnsteuerung übermittelt werden, damit die Bahn der Schleifscheibe entsprechend eingestellt werden kann.

- Leerseite -

21

1/8

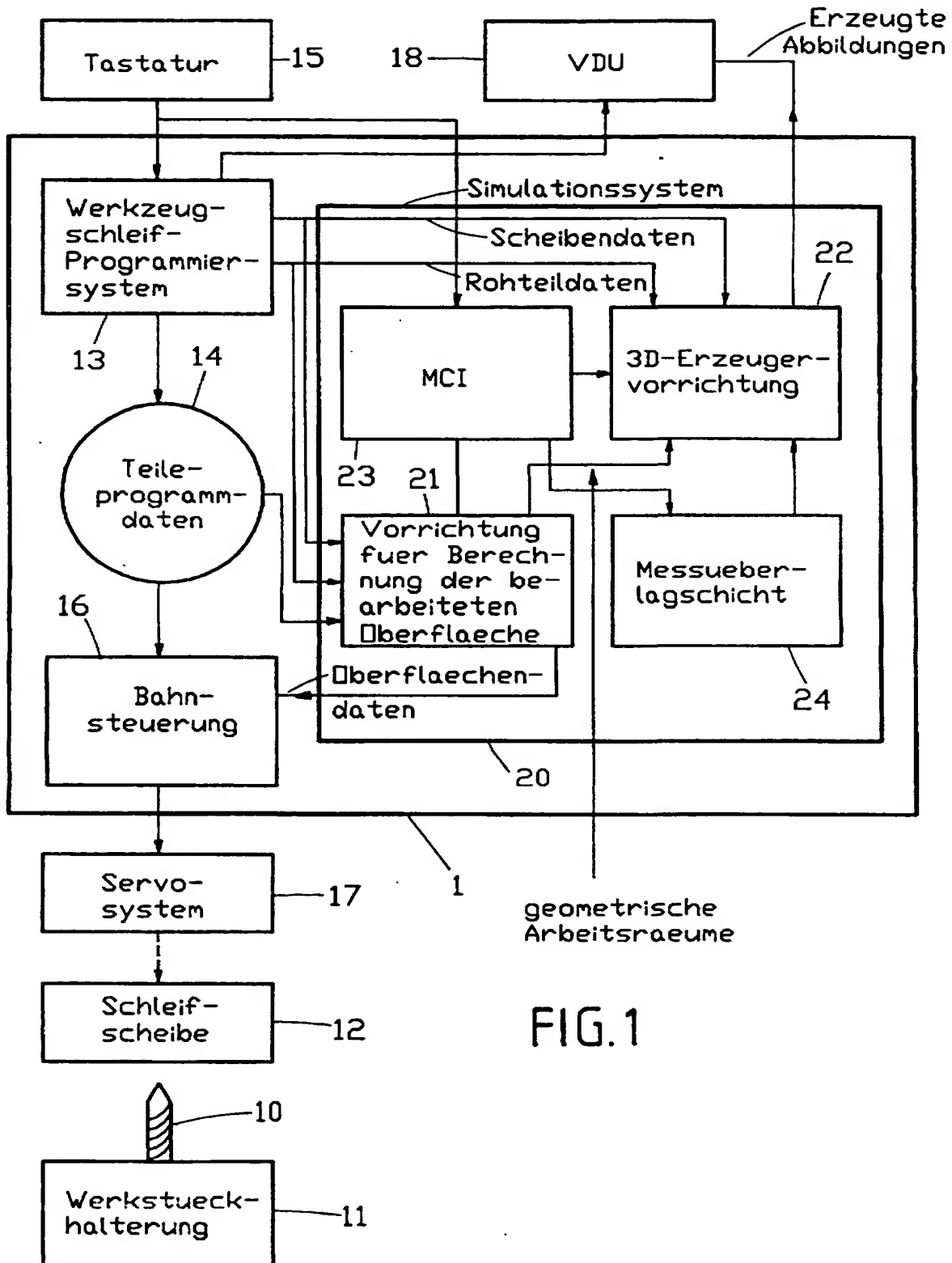


FIG.1

31.05.99

DE 197 81 960 T1

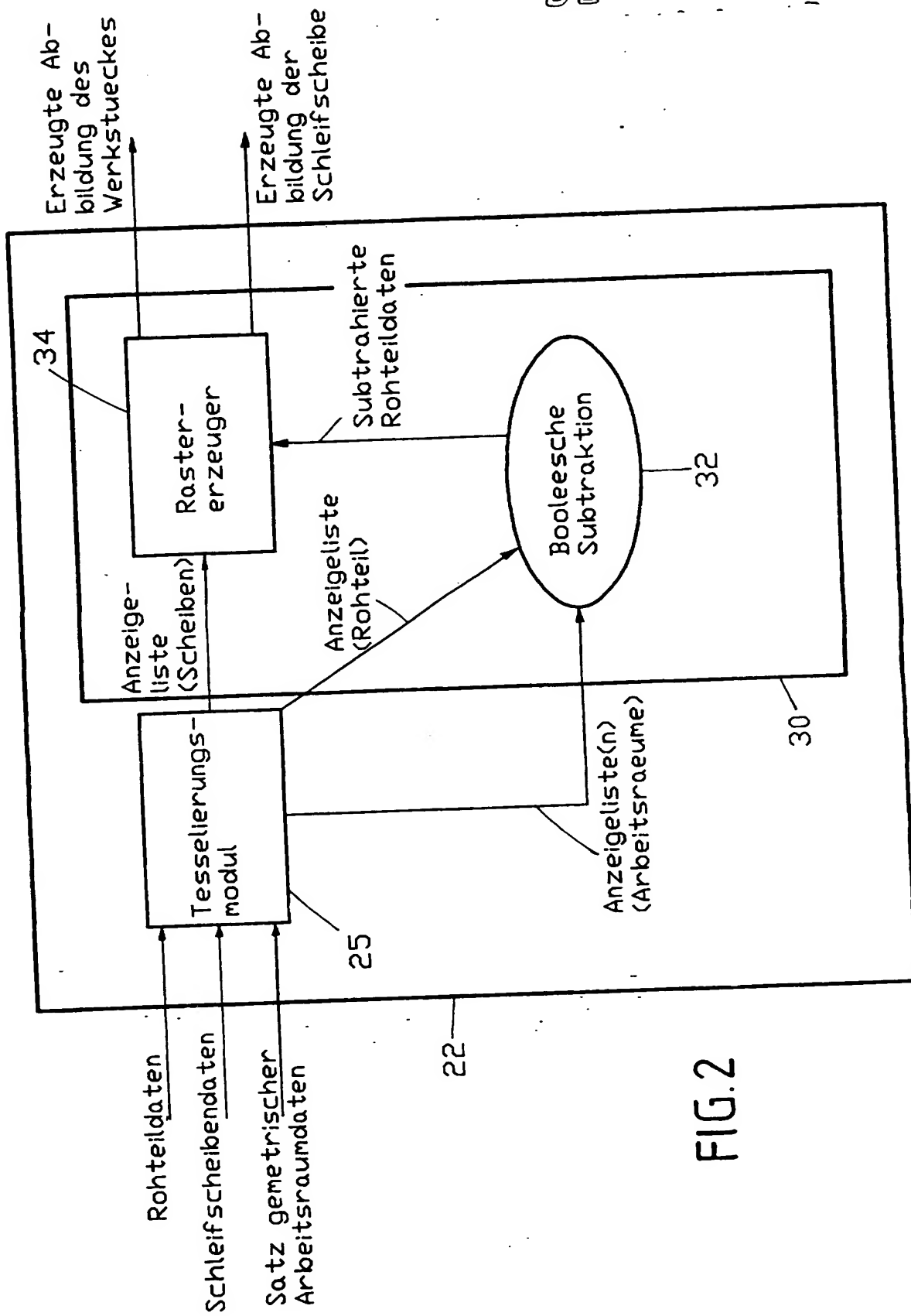


FIG.2

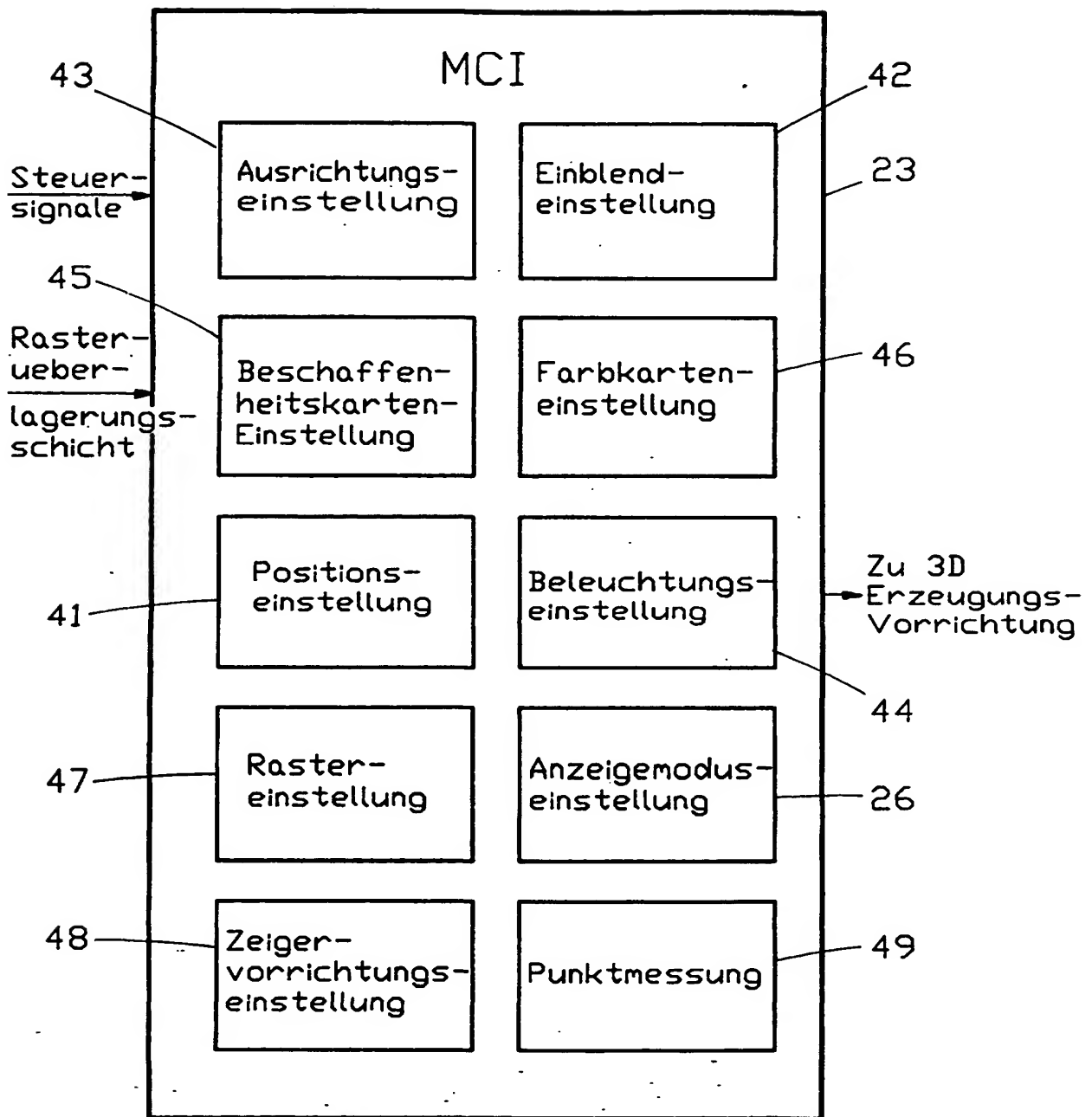


FIG.3

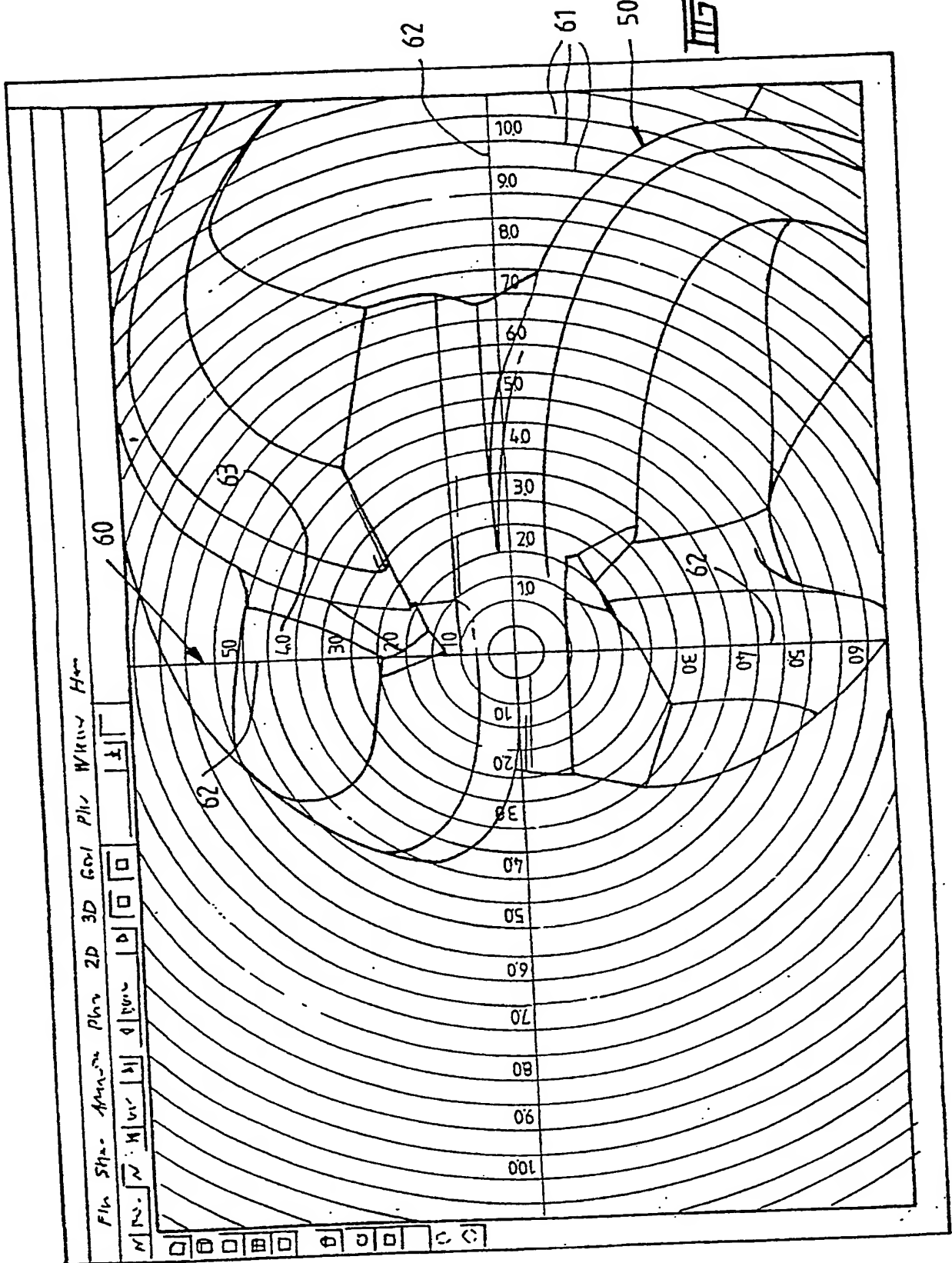
31.05.99

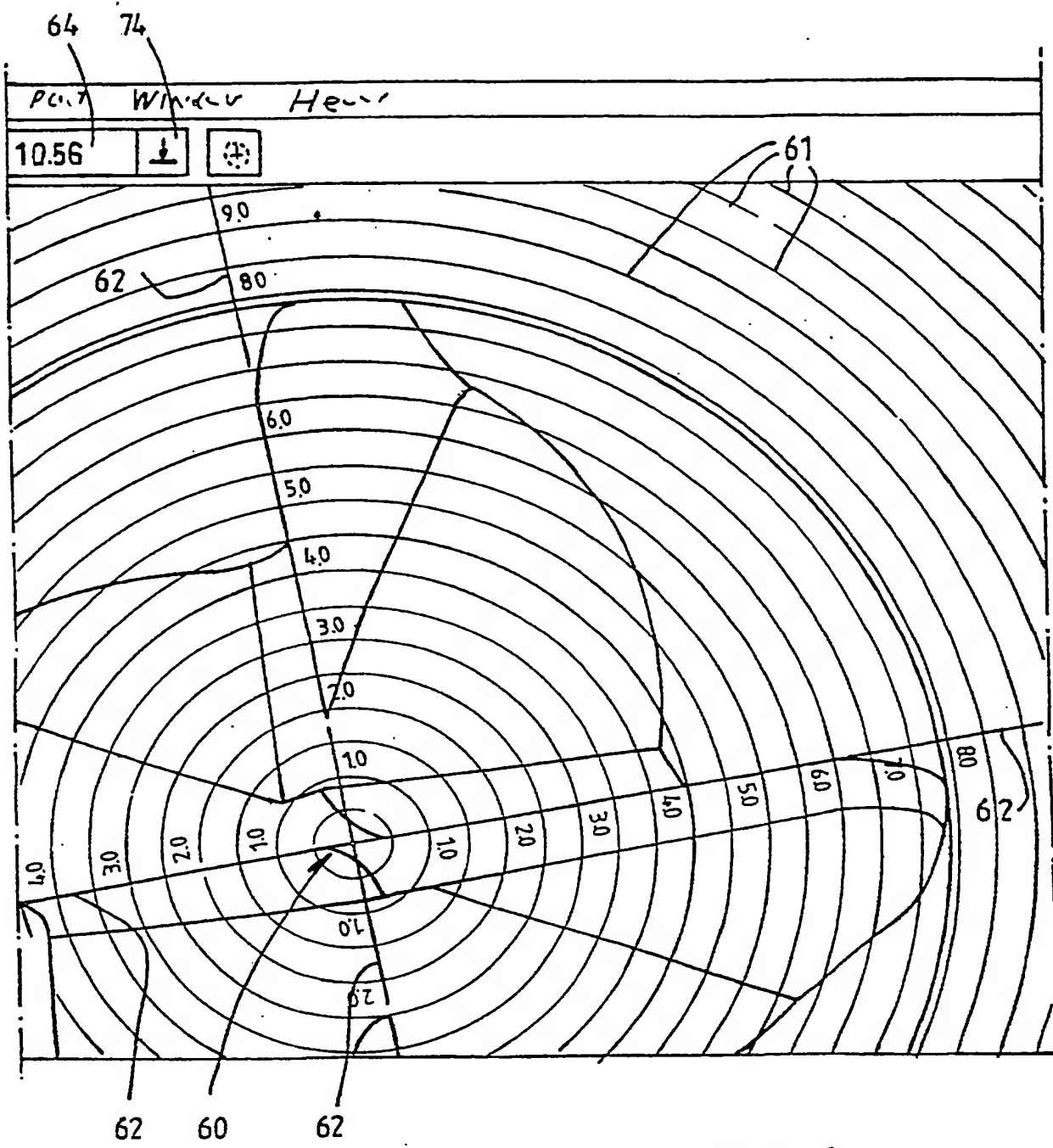
4/8

16

4

115-4





III. 5.





III.7

